

Научная статья

УДК 538.9/669.1

## ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ВОДОРОДА НА КИНЕТИКУ ФАЗОВОЙ РЕКОМБИНАЦИИ МАГНИТОТВЕРДОГО СПЛАВА $R_2Fe_{14}B$

**Максим Александрович Торкунов<sup>1</sup>, Сергей Борисович Рыбалка**

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

<sup>1</sup> *kineticx@bk.ru*

**Аннотация.** В ходе исследования получено кинетическое уравнение в рамках кинетической теории фазовых превращений, описывающее кинетику фазовой рекомбинации в сплаве  $R_2Fe_{14}B$  в зависимости от исходного давления водорода.

**Ключевые слова:** кинетика, фазовые переходы, магнитные сплавы

Original article

## EFFECT OF HYDROGEN PRESSURE ON THE KINETICS OF THE PHASE RECOMBINATION OF THE $R_2Fe_{14}B$ HARD MAGNETIC ALLOY

**Maxim Alexandrovich Torkunov<sup>1</sup>, Sergey Borisovich Fishing**

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

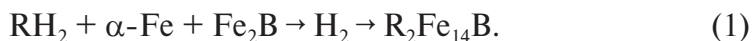
<sup>1</sup> *kineticx@bk.ru*

**Abstract.** In the course of the study a kinetic equation was obtained within the framework of the kinetic theory of phase transformations describing the kinetics of phase recombination in the alloy  $R_2Fe_{14}B$  depending on the initial pressure of hydrogen.

**Keywords:** kinetics, phase transitions, magnetic alloys

Обработка металлов и сплавов основана на фазовых превращениях, в частности, новая технология, известная как HDDR-процесс (*Hydrogenation-Decomposition-Desorption-Recombination*), основана на фазовых превращениях, индуцированных водородом, и успешно исполь-

зуется для улучшения магнитных свойств магнитотвердых сплавов типа  $R_2Fe_{14}B$  ( $R$  – РЗМ). Индуцированный водородом фазовый распад происходит в атмосфере водорода, когда при взаимодействии с водородом исходный сплав  $R_2Fe_{14}B$  распадается на фазу редкоземельного гидрида  $RH_2$  ( $\alpha$ -фазу  $Fe$  и борид железа  $Fe_2B$ ). Последующее удаление водорода из распавшегося сплава инициирует развитие фазовой рекомбинацией распавшихся фаз в исходную  $R_2Fe_{14}B$  фазу с улучшенной микроструктурой по схеме:



Исследование кинетики фазовой рекомбинации в сплаве  $R_2Fe_{14}B$  ( $R_{36,4}Fe_{62,45}B_{1,15}$ , где  $R$  является смесью редкоземельных металлов — 33 %  $Nd$ , 2 %  $Pr$ , 0,9 %  $Ce$  и 0,5 %  $Dy$ , вес. %), было проведено ранее [1] (рис., *a*). В нашем случае можно полагать, что развитие фазового превращения контролируется двумя основными процессами, то есть процессами распада фазы  $RH_2$ , зарождением и ростом фазы  $R_2Fe_{14}B$ . Как было показано ранее [2], для случая диффузионно-контролируемого роста новых фаз кинетическое уравнение для объема превращенной области  $f$  в зависимости от времени превращения  $t$  и температуры  $T$  имеет вид:

$$f(t) = 1 - \exp \left[ -\frac{8\pi RT\gamma}{15h} \beta^3 D_o^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{W+U+\frac{3}{2}Q}{RT}} t^{5/2} \right], \quad (2)$$

где  $\gamma = 10^{-4}$  моль/м<sup>3</sup>,  $\beta = 10^{-3}$ ,  $D_o = 14 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $W$  — работа образования критического зародыша фазы  $R_2Fe_{14}B$ ,  $Q = 259,54$  кДж/моль (энергия активации диффузии атомов  $Fe$  в  $\alpha$ -фазе  $Fe$ ),  $U = -81,4$  кДж/моль (энергия диссоциации фазы  $RH_2$ ) [2]. Средние значения показателя степени при  $t$ , определенные из зависимости  $\ln[-\ln(1-f)]$  от  $\ln t$  (рис., *б*), составили 2,12, т.е. они действительно близки к 2,5 как в уравнении (2). Рассчитанные по уравнению (2) кинетические кривые фазовой рекомбинации (рис., *a*) при различных исходных давлениях водорода дают хорошую аппроксимацию при значениях  $W$  работы образования критического зародыша фазы  $R_2Fe_{14}B$ : 165,3 кДж/моль (0,1 МПа), 158,7 кДж/моль (0,15 МПа), 151,9 кДж/моль (0,2 МПа), т.е. ускорение развития фазовой рекомбинации обусловлено уменьшением работы образования критического зародыша  $R_2Fe_{14}B$  с увеличением исходного давления газообразного водорода.

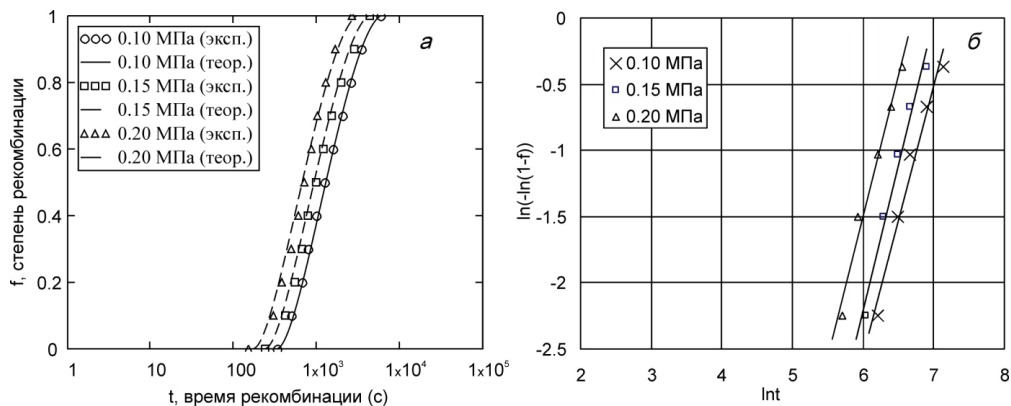


Рис. Исследование кинетики фазовой рекомбинации в сплаве R2Fe14B:  
 а — кинетика фазовой рекомбинации сплава  $R_2Fe_{14}B$  при температуре 710 °С и различных исходных давлениях водорода (точки — данные эксперимента, кривые — теоретический расчет); б — зависимость  $\ln[-\ln(1-f)]$  от  $\ln t$

### Список источников

1. Rybalka S. B. Effect of hydrogen pressure on growth kinetics of Nd-2Fe14B phase during hydrogen-induced reverse phase transformation in Nd-2Fe14B type hard magnetic alloy // Letters on Materials. 2011. V. 1. № 2. P. 96–101.
2. Rybalka S. B. Theoretical analysis of reverse hydrogen-induced diffusive phase transformation kinetics in Nd15Fe77B8 alloy // Functional Materials. 2002. V. 9. №. 3. P. 405–408.